

DESAIN DAN ANALISIS PROPORSIONAL KONTROL BUCK-BOOST CONVERTER PADA SISTEM PHOTOVOLTAIK

Achmad Komarudin¹

Abstrak

Krisis energi memicu manusia untuk mengembangkan energy alternatif. Salah satu energy alternative yang banyak dikembangkan adalah photovoltaic. Energi matahari disimpan dalam baterai. Pengisian baterai menggunakan konverter buck-boost. Pada penelitian ini dilakukan studi terhadap proporsional kontrol yang diterapkan pada konverter buck-boost. Penerapan proporsional kontrol menghasilkan respon yang lebih cepat sebesar 0.5 s dan sedikit overshoot pada keluaran rangkaian buck-boost. Sistem pengisian baterai mampu mengisi baterai walaupun tegangan photovoltaik lebih rendah dari tegangan baterai.

Kata-kata kunci: photovoltaik, koverter buck-boost, kontroler proporsional.

Abstract

The energy crisis triggered human to develop alternative energy. One of the many alternative energy developed is photovoltaics. Solar energy is stored in batteries. Charging the battery using a buck-boost converter. In this research, a study of the proportional control is applied to the buck-boost converter. Application of proportional control produces a faster response of 0.5 s and a little overshoot on the output buck-boost circuit. Battery charging system is able to charge the battery even if the photovoltaic voltage is lower than the battery voltage.

Keywords: photovoltaic, buck-boost converter, proporsional control.

1. PENDAHULUAN

Krisis minyak bumi dunia yang terjadi pada beberapa tahun terakhir menyadarkan manusia untuk berupaya mencari energi alternatif selain minyak bumi. Salah satu energi alternatif yang masih terus diteliti hingga sekarang adalah energi dari sinar matahari. Energi dari sinar matahari dapat dimanfaatkan dengan

¹ Achmad Komarudin. Dosen Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang

bantuan suatu sistem sel surya (*solar cell*). Sistem sel surya memungkinkan untuk memanfaatkan energi matahari selama waktu bersinarnya. Energi matahari adalah energi yang selalu tersedia dan merupakan salah satu sumber energi listrik yang tidak menimbulkan polusi dan dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan. Sistem seperti ini akan membutuhkan baterai untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya. Energi listrik yang tersimpan dalam baterai dapat dimanfaatkan pada waktu malam hari atau pada saat matahari tidak menampakkan sinarnya (Daoud dan Midoun, 2005).

Proses pengisian baterai merupakan bagian penting agar laju pengisian baterai dapat dilakukan secara optimal. Rangkaian pengisi baterai merupakan pengembangan dari peralatan pengontrol pengisi baterai konvensional yang menggunakan rangkaian transistor sebagai komponen kontrolnya.

Pengisian baterai (*battery charging*) dengan metode *switching* mempunyai kinerja yang lebih baik daripada metode pengendalian arus dengan transistor. Dengan metode *switching* ini efisiensi yang diperoleh bisa mencapai 85% atau lebih (O'Connor, 1999). Disipasi panas yang dihasilkan oleh metode *switching* lebih rendah daripada metode pengendalian arus dengan transistor.

Pada penelitian ini topologi rangkaian pengisi baterai adalah *buck-boost converter*. Topologi ini memungkinkan sumber energi memiliki tegangan lebih besar atau lebih kecil dari baterai. Metode kontrol diusulkan menggunakan kontrol proporsional dengan pertimbangan karakteristik rangkaian *buck-boost converter* yang cenderung linier.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Photovoltaik

Photovoltaic adalah bahan semikonduktor yang dapat melepas elektron apabila ada rangsangan dari sinar matahari yang kemudian membentuk arus listrik. Bahan semikonduktor yang sering dipakai oleh sel photovoltaic adalah silicon. Di dalam silicon paling tidak terdapat dua lapisan yaitu lapisan bermuatan positif dan bermuatan negatif. Kemudian ada gerbang diantara dua lapisan tersebut, dimana gerbang itu akan terbuka apabila ada

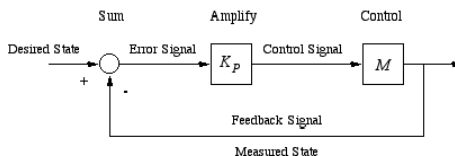
rangsangan dari cahaya matahari sehingga membentuk suatu aliran elektron atau arus searah (DC). Besar gerbang berbanding lurus dengan banyaknya intensitas cahaya matahari yang masuk. Dikarenakan besarnya arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan intensitas cahaya matahari, maka tidak sama antara kondisi cuaca cerah dan kondisi mendung. Sehingga bisa dikondisikan besarnya arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan berat jenis awan yang memantulkan sinar dari matahari.



Gambar 1 Photovoltaik dan Spesifikasi

2.2 Kontrol Proporsional

PID (*Proportional – Integral – Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut.

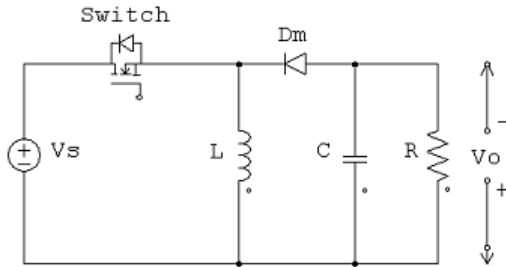


Gambar 2 Blok Diagram *Proportional Control*

Proportional control jika $G(s) = k_p$, dengan k adalah konstanta. Jika $u = G(s) \cdot e$ maka $u = K_p \cdot e$ dengan K_p adalah Konstanta *Proportional*. K_p berlaku sebagai *Gain* (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik kepada kinerja kontroler. Penggunaan *proportional control* memiliki berbagai keterbatasan karena sifat kontrol yang tidak dinamik ini. Walaupun demikian dalam aplikasi-aplikasi dasar yang sederhana *proportional control* ini cukup mampu untuk memperbaiki respon transien khususnya *rise time* dan *settling time*. (Curtis D. Johnson: 2000).

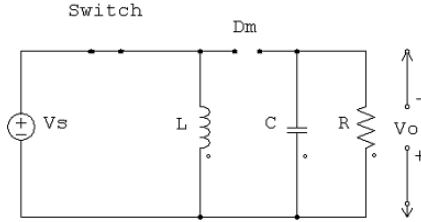
2.3 Konverter Buck-Boost

Konverter *Buckboost* sebagai salah satu regulator mode pensaklaran menghasilkan tegangan keluaran yang lebih kecil atau lebih besar dibanding tegangan masukannya. Gambar 3 adalah rangkaian buckboost secara umum:



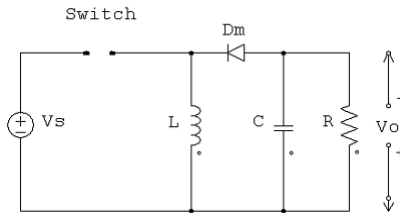
Gambar 3 Rangkaian *Buckboost Converter**)
*)Rasyid: 2007

Prinsip kerja rangkaian ini dibagi menjadi 2 mode. Selama mode 1, transistor Q1 di-ON-kan dan diode D_m mendapat bias mundur arus input, yang bertambah mengalir melalui induktor L dan transistor Q1. Selama mode 2, transistor Q1 di-OFF-kan. Dan arus mengalir melalui induktor L , diteruskan ke C , D_m dan ke beban. Energi yang tersimpan di dalam induktor L akan ditransfer ke beban. Dan arus induktor akan berkurang sampai transistor Q1 di-ON-kan lagi pada siklus berikutnya.



Gambar 4 Rangkaian *Buckboost Converter* Saklar Tertutup*)
 *)Rasyid: 2007

Pada Gambar 4 menunjukkan rangkaian konverter *Buckboost* dalam keadaan mosfet Q1 ON. Hal ini menyebabkan diode bekerja *reverse* sehingga arus akan mengalir ke induktor L. Dengan adanya arus yang mengalir ke induktor maka terjadi pengisian arus pada induktor sehingga arus induktor (I_L) naik.



Gambar 5 Rangkaian *Buckboost Converter* Saklar Terbuka*)
 *)Rasyid: 2007

Pada Gambar 5 menunjukkan rangkaian *Buckboost Converter* dalam keadaan mosfet Q1 OFF. Hal ini menyebabkan dioda bekerja *forward* sehingga arus mengalir L, C, Dm dan beban. Energi yang tersimpan di induktor mengalami *discharging*. Konverter *buckboost* menghasilkan tegangan keluaran yang terbalik tanpa memerlukan trafo dan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah maupun lebih tinggi dari tegangan masukan. Dengan catatan, bila *duty cycle* PWM sebagai penyulut *switch* lebih dari 50%, maka tegangan keluaran akan lebih tinggi dari tegangan masukan. Dan bila *duty cycle* PWM kurang dari 50%, maka tegangan keluaran akan lebih rendah dari tegangan masukan.(Rasyid: 2007).

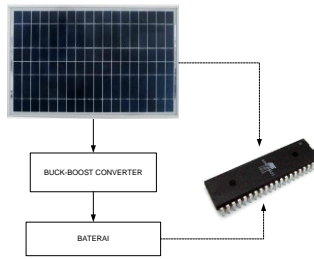
3. METODE

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur tentang karakteristik sel surya dan konverter buck boost. Dari hasil studi ini didapatkan rumusan tujuan penelitian. Kemudian dibuat perencanaan dan perancangan sistem pengisian baterai menggunakan rangkaian konverter buck boost. Langkah selanjutnya adalah pembuatan program pada mikrokontroler untuk memberikan pulsa PWM pada rangkaian konverter buck boost. PWM pada konverter buck boost diatur dengan kondisi tegangan keluaran photovoltaik. Apabila tegangan keluaran photovoltaik lebih besar dari tegangan baterai maka duty cycle PWM harus kurang dari 50% sehingga konverter beroperasi pada mode buck, dan bila tegangan keluaran photovoltaik lebih kecil dari tegangan baterai maka duty cycle PWM dikondisikan lebih dari 50% sehingga konverter beroperasi pada mode boost. Selanjutnya dilakukan pengamatan hasil pengisian baterai dan menganalisis hasilnya. Kemudian diambil kesimpulan dan saran berdasarkan hasil-hasil yang telah diperoleh.

3.2 Perencanaan Sistem

Perencanaan sistem mengikuti diagram blok seperti pada Gambar 6.



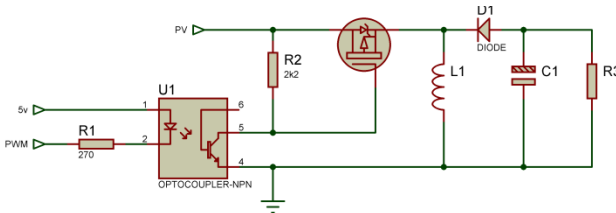
Gambar 6 Diagram Blok Sistem *Charging* Baterai

Berikut adalah penjelasan fungsi masing-masing bagian sistem *charging* baterai:

1. Photovoltaik berfungsi sebagai sumber energi listrik, energi listrik selanjutnya disimpan dalam baterai.
2. Konverter *buck boost* digunakan sebagai pengaturan sistem pengisian baterai. Mode *buck* diterapkan saat kondisi

- tegangan PV lebih dari baterai dan mode *boost* diterapkan saat kondisi tegangan PV kurang dari tegangan baterai.
3. Mikrokontroler berfungsi sebagai otak sistem *charging* baterai. Berdasarkan *feedback* tegangan dari PV dan baterai, mikrokontroler memutuskan mode yang harus diterapkan pada konverter *buck-boost* dengan memberikan pulsa PWM yang sesuai.
 4. Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik dari PV dan sebagai catu daya bagi rangkaian kontrol.

Perencanaan rangkaian konverter *buck-boost* didasarkan pada karakteristik PV dan kebutuhan beban. Rangkaian konverter *buck-boost* direncanakan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Rangkaian Konverter *Buck-Boost*

Parameter awal yang diperlukan untuk desain induktor ini adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{in \text{ min}} &= 10 \text{ V} & I &= 2\text{A} \\ V_{in \text{ Max}} &= 20 \text{ V} & f &= 40\text{kHz} \end{aligned}$$

Perancangan *Buckboost Converter* dimulai dengan penentuan tegangan minimal dan tegangan maksimal dari masukan *Buckboost Converter*. Desain *Buckboost Converter* memiliki tegangan minimal 10 V dan maksimal 20 V. Arus yang dikehendaki 2A, dan frekuensi 40kHz. Setelah mengetahui parameter selanjutnya dapat menentukan *duty cycle* untuk batas waktu *buck* dan *boost*.

$$V_{out} = -V_{in} \left[\frac{D}{1-D} \right] \quad (1)$$

$$-14 = -10 \left[\frac{D}{1-D} \right]$$

$$1.4 = \left[\frac{D}{1-D} \right]$$

$$1.4 = 2.4D$$

$$D = 0.583$$

- Nilai resistansi beban:

$$R = \frac{V_o}{I} \quad (2)$$

$$R = \frac{14}{2}$$

$$R = 7\Omega$$

Setelah menentukan nilai *duty cycle*. Selanjutnya adalah menentukan nilai induktor dengan menggunakan persamaan 3 di bawah ini.

$$L = \left(\frac{1}{f} \right) \times [V_{out} + V_F] \times \left(\frac{V_{in} - V_{min}}{V_{out} + V_F + V_{in} - V_{min}} \right) \times \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right) \quad (3)$$

$$\Delta I_L = 20\% \times I_{L(avg)} \quad (4)$$

$$I_{L(avg)} = \left(\frac{V_o^2}{V_s R D} \right) \quad (5)$$

Sebelum menentukan nilai induktor, maka perlu dicari terlebih dahulu arus yang mengalir pada induktor. Persamaan 4 dan 5 mencari arus rata-rata yang akan mengalir pada induktor yang akan mempengaruhi ukuran diameter kawat yang akan digunakan pada induktor

Nilai induktor:

$$L = \left(\frac{1}{f} \right) \times [V_{out} + V_F] \times \left(\frac{V_{in} - V_{min}}{V_{out} + V_F + V_{in} - V_{min}} \right) \times \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right)$$

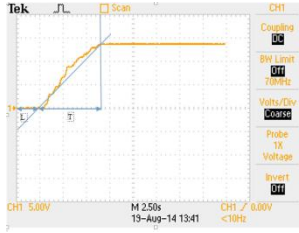
$$L = \left(\frac{1}{40000} \right) \times [14 + 1] \times \left(\frac{10}{14 + 1 + 10} \right) \times \left(\frac{1}{0.96} \right)$$

$$L = 3.75 \times 10^{-3} \times 0.4 \times 1.041$$

$$L = 1.56 \times 10^{-4} H$$

$$L = 156 \mu H$$

Perencanaan kontroler proporsional dilakukan dengan melihat respon transien konverter *buck-boost* seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Respon Transien Konverter Buck

Dengan metode Zeiger - Nichols dengan pendekatan kurva respon

$$Kp = T/L$$

$$Kp = 2/6.5$$

$$= 0.3s$$

$$G_{(s)} = \frac{Ke^{Ls}}{Ts + 1}$$

$$G_{(s)} = \frac{0.3e^{6.5s}}{2s + 1}$$

Didapatkan nilai dari kurva di atas :

$$L = 1$$

$$T = 2$$

$$Kp = \frac{T}{L} \tag{6}$$

$$Kp = \frac{2}{1}$$

$$Kp = 2 \tag{7}$$

Dari nilai Kp yang diperoleh dapat disimulasikan dengan *simulink* untuk mengetahui respon. Hasil *tuning* parameter proporsional dengan menggunakan metode kurva respon Zeigler-Nichols pada respon tegangan di peroleh nilai Kp=2. Dalam aplikasi di mikrokontroler menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = Kp * error \tag{8}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sistem Kontrol Proporsional

Pengujian dilakukan dengan membandingkan saat konverter diberi kontroler proporsional dan saat konverter tidak diberi

kontroler proporsional. Pada saat konverter tidak diberi kontroler proporsional respon yang dihasilkan seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Respon Transien Konverter Tanpa Kontroler Proporsional

Dari hasil pengujian konverter *buckboost*, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tegangan *steady state* adalah 3.0s. Hasil ini untuk bisa diaplikasikan namun memerlukan waktu cukup lama untuk mencapai tegangan yang diinginkan apabila terjadi perubahan tegangan yang cepat pada input konverter *buckboost*. Selanjutnya diterapkan kontroler proporsional dengan nilai KP sesuai perencanaan, hasil respon transien ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Respon Transien Konverter Dengan Kontroler Proporsional

Berdasarkan hasil pengujian didapat grafik respon transien yang lebih cepat yaitu dengan waktu 0.5s. Sehingga apabila terjadi perubahan yang cepat pada sisi input diharapkan terjadi perubahan yang cepat pula pada sisi output.

4.2 Pengujian Pengisian Baterai

Pengujian proses pengisian baterai dilakukan dengan mengamati proses pengisian baterai dari keadaan tegangan awal sampai pada tegangan akhir pada nilai tertentu. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengisian Baterai

V Input	V Output	V awal baterai	V akhir baterai	Lama Pengisian
18V	12.1	11.33	11.72	65 menit
12V	12.05	11.34	11.74	93 menit
14V	12.1	11.32	11.39	78 menit
11V	11.87	10.19	10.29	57 menit

Setelah uji coba menggunakan charger didapatkan data bahwa konverter pada saat tegangan rendah 12V kemudian dinaikkan dengan mode *boost* arus menjadi lebih kecil sehingga pengisian baterai menjadi lebih lama. Karena arus yang dihasilkan dari *photovoltaic* maksimal 1 A pada kondisi intensitas yang di tangkap sangat berpengaruh pada sistem *charge*.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan semua pengujian dan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Metode kontrol proportional pada pengaturan *duty cycle* konverter *buckboost* berfungsi untuk mencapai setpoint dengan waktu 0.5s.
2. Proses *charging* dengan menggunakan rangkaian konverter *buckboost* dengan beban baterai 7 AH, tegangan awal 11.34V dalam waktu 90 menit tegangan menjadi 11.74 V dengan tegangan sumber 11.9V. Pada saat tegangan awal 10.19V menjadi 10.39V dengan tegangan sumber 10.9V (*boost mode*).

5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan untuk pengembangan penelitian ini antara lain:

1. Perlu dilakukan perubahan topologi konverter karena hasil tegangan yang berubah polaritasnya menyebabkan terjadinya kesulitan pada rangkaian *feedback*.
2. Perlu ditambahkan sensor arus untuk memonitor daya maksimum yang bisa dihasilkan photovoltaik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Curtis D. Johnson. 2000. Process Control Instrumentation Technology, Prentice Hall, New Jersey.
- Daoud, A. and Midoun, A. 2005. Fuzzy Control of a Lead Acid Battery Charger. Journal of Electrical Systems 1(1):62-72
- Morel C, dkk, 2004, Extension of Chaos Anticontrol Applied to the Improvement of Switch Mode Power Supply Electromagnetic Compatibility, IEEE Symposium on Industrial Electronic, Ajaccio, France.
- Muhammad H. Rashid. 2007. Power Electronics SECOND Edition” , Englewood Cliff, New Jersey.